

HEURÍSTICA PARA EL BALANCE DE LÍNEAS DE ENSAMBLE CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS

HEURISTIC METHOD TO BALANCE ASSEMBLY LINES WITH ERGONOMICS CONSIDERATIONS

Emilsy Medina Chacón^{1,*}, Ruth Illada García¹

RESUMEN

El presente artículo expone el diseño de un método heurístico para el Balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas, el cual está basado en la combinación de las teorías de balance de líneas tradicionales y dos métodos de evaluación ergonómica, el Método REBA y la evaluación multitarea de carga física, lográndose que con una única herramienta, se alcance un equilibrio de las variables de tiempo y biomecánicas. El valor agregado del planteamiento radica en el tratamiento simultáneo de dos aspectos que por ahora han sido abordados de forma independiente, y se alcanza a través de una función multi-objetivo que valora parámetros de capacidad de producción, ocio y nivel de riesgo músculo esquelético en las soluciones generadas a través del algoritmo. Con el método heurístico diseñado, se obtiene un abanico de soluciones adecuadas que proporcionan un equilibrio entre productividad y salud del trabajador. De este grupo de soluciones, se selecciona la más ajustada a los requerimientos y necesidades, según la experiencia de las personas encargadas de la toma de decisiones en la organización. El método desarrollado, debido a su estructura genérica, puede ser implementado en cualquier línea de ensamble, ajustando los datos para cada caso específico.

Palabras clave: Heurística, balance de líneas de ensamble, riesgo biomecánico, ergonomía.

ABSTRACT

This paper presents the design of a Heuristic Method to Balance Assembly Lines with Ergonomic considerations, which is based on the combination of traditional balance lines theories and two methods of ergonomic evaluation, the "REBA" method and the Multitasking Rating of Physical Load, whereby a balance between the time variable and biomechanical is achieved in the same tool, which is an innovative method since at present these two aspects are evaluated separately. This is done through a multi-objective function that values parameters of production capacity, leisure and risk level of skeletal muscle in the solutions generated by the algorithm. With the design of the heuristic method a range of appropriate solutions is obtained that provide a balance between productivity and worker health, with this group of solutions, the most adequate to the requirements and needs is selected, according to the experience of the persons responsible for making decisions in the organization. The

¹Dpto. de Ingeniería de Métodos. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

*Autor para correspondencia: emedina121@gmail.com

Recibido: 30.01.2014 Aceptado: 01.08.2014

developed method, due to its generic structure can be implemented in any assembly line fitting the data for each specific case.

Keywords: Heuristic, Balance of Assembly Lines, biomechanical risk, ergonomics.

INTRODUCCIÓN

Las líneas de ensamble son un aspecto relevante de los sistemas de producción ya que convergen todas las partes producidas para ser integradas y formar una unidad de producto, un ejemplo son las del sector automotriz, en ellas se observan que las actividades o tareas de las estaciones de trabajo, muchas veces requieren el empleo repetitivo de herramientas y equipos vibratorios, aplicación de fuerza en posturas incómodas, así como presión excesiva en miembros superiores, trabajar con el tronco y los brazos flexionados, levantar y empujar cargas pesadas; presentan también una alta exigencia en actividades que precisan girar la (s) mano (s) de forma continua durante la jornada de trabajo, características que pueden ser factores de riesgo a lesiones músculo esqueléticas en los trabajadores. (Punnet *et al.*, 2004; Cachutt *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2009; Vásquez *et al.*, 2009).

Hoy en día, las líneas de ensamble y las ensambladoras de vehículos en particular, siguen realizando los balances de línea de manera tradicional, es decir, asignación de actividades a estaciones de trabajo según un tiempo de ciclo predeterminado, precedencias y, de forma separada, se realizan valoraciones ergonómicas a las líneas de ensamble con el objetivo de estimar el riesgo a lesiones músculo esqueléticas de las diferentes estaciones que conforman la línea. En investigaciones recientes se han diseñado algoritmos computacionales (Restrepo *et al.*, 2008; Pérez & Pérez 2009), algoritmos genéticos (Ramírez *et al.*, 2010; Ponnambalam *et al.*, 2000), modelos para secuenciación de líneas de ensamble (Cano, 2006), como herramientas para el balanceo de líneas.

La literatura relacionada con métodos de balance de líneas que consideren aspectos ergonómicos de forma paralela es muy escasa. Investigaciones realizadas por Coronado y Mateus (2013) presentan un modelo de optimización para balance de líneas de celdas en U, considerando el riesgo ergonómico presente en las estaciones de trabajo, para lo cual plantean un modelo de función objetivo de minimización sujeto a seis restricciones relacionadas con las condiciones de las líneas de ensamble y el aporte de los autores es la inclusión de una restricción adicional relativa al riesgo ergonómico, las restricciones que tomaron en cuenta los autores citados son: 1) permite que cada tarea sea asignada a una sola estación de trabajo. Restricciones 2 y 3: aseguran que las estaciones de trabajo no excedan en tiempo de ciclo, Restricción 4 y 5: relacionan la precedencia que existe en la red original y "fantasma". Restricción 6: define las variables binarias. 7) relacionada con el riesgo ergonómico, este riesgo es medido con el método de "Check List Ocra". También la investigación realizada por Xu *et al.*, (2012), presenta una metodología para agregar las medidas ergonómicas de las extremidades superiores al diseño de líneas de ensamble, desarrollando modelos lineales que relacionan la asignación del trabajo y las medidas ergonómicas basados en la guía de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales.

Sin embargo, lo que propone esta investigación es la integración de las herramientas de balance de líneas y valoración biomecánica que permitan mejoras asociadas a la asignación de actividades en estaciones de trabajo acorde con la aplicación simultánea de principios relacionados con la productividad y con la seguridad del trabajador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación desarrolló un Método Heurístico para el Balance de Líneas de Ensamble con consideraciones Ergonómicas, integrando en una misma herramienta, los parámetros del balance de líneas considerando las limitantes asociadas a los aspectos biomecánicos presentes en las actividades, obteniendo un balance que proporcionó una reducción del riesgo a las lesiones músculo esqueléticas, manteniendo una alta eficiencia de la línea de ensamble. Este método está dirigido a líneas de ensamble que contemplan varios modelos de un mismo producto, teniendo un conjunto de tareas común en la totalidad de las tareas, produciéndose unidades de diferentes modelos en una secuencia mixta arbitraria, como es el caso de los ensambladores de vehículos.

El corte de la investigación fue de tipo proyectiva, la cual “propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación, exploración, descripción y explicación y propone alternativas de cambio...” (Hurtado, 2010). Para las evaluaciones ergonómicas se consideró el método denominado “Rapid Entire Body Assessment (REBA)”, esta herramienta desarrollada en el año de 1995 (Hignett & Mc Atamney, 2000), evalúa el análisis postural en los puestos de trabajo. El REBA se fundamenta en la división del cuerpo humano en segmentos que pueden ser codificados individualmente, con referencia a planos de movimiento. Esta metodología propone un sistema de escala para actividades musculares por cambios rápidos, carga estática o dinámica y posturas inestables, e incluye el efecto del acoplamiento o agarre en el manejo de herramientas. El método REBA proporciona un índice que representa el riesgo a sufrir de lesiones músculo esquelético en una escala de 0 a 15, desde bajo a muy alto riesgo, lo cual indica un nivel de acción recomendado.

El otro método que se utilizó en la heurística desarrollada en esta investigación, fue la Evaluación Multitarea de Carga Física, esta metodología desarrollada por (Idoate & Pollán, 2003), considera a cada actividad laboral compuesta por sub-tareas con duración y compromisos posturales distintos y que la presencia de una postura forzada en una de estas sub-tareas que no es compensable con una postura no forzada. Por ello, la evaluación multitarea de la carga física combina los tiempos de duración de elementos racionales de trabajo (también llamados sub-tareas) y sus respectivos compromisos posturales descritos a través del método ergonómico REBA, para obtener el nivel de riesgo a lesiones músculo esqueléticas (LME). La importancia del método de Evaluación Multitarea de Carga Física, radica en la consideración del tiempo de exposición a una postura específica y, por lo tanto, el resultado final guarda relación con la exposición al riesgo, lo cual fue prioritario para el método propuesto.

En la figura 1, se muestran los elementos considerados en la investigación que formaron parte del diseño del método heurístico desarrollado.

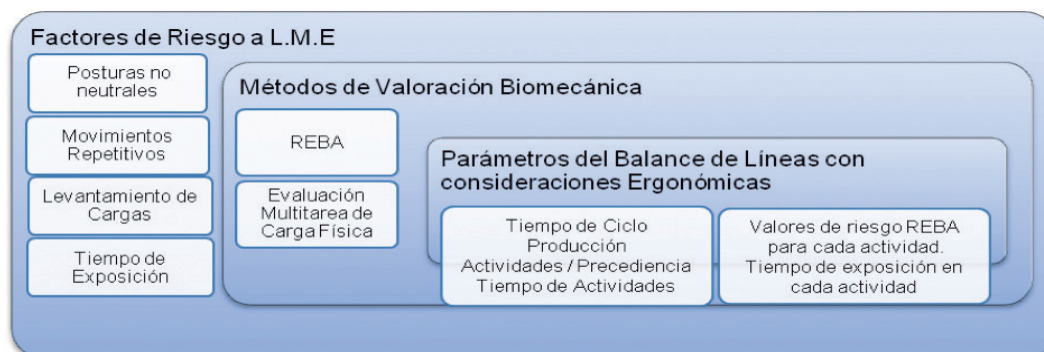


Figura 1. Elementos abordados en el Balance de Líneas con consideraciones ergonómicas.

Para el Algoritmo de Balance de Líneas de Ensamble con consideraciones Ergonómicas, se consideraron tres etapas consecutivas que se describen en la figura 2.

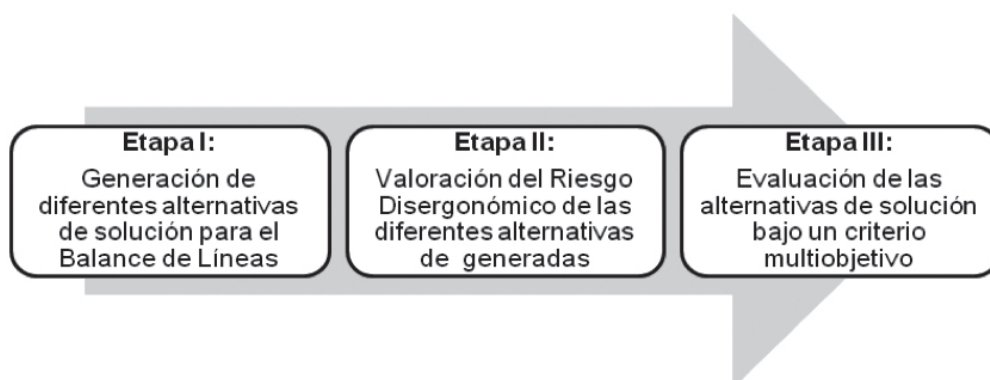


Figura 2. Etapas de desarrollo del Algoritmo para el Balance de Líneas con consideraciones Ergonómicas.

En la Etapa I, el algoritmo generó alternativas de balance de líneas basadas en tiempos de las tareas asociadas, utilizando los siguientes pasos, los cuales son los previstos en la teoría de balance de líneas de ensamble de acuerdo con las investigaciones de Gómez & Núñez (2005), Burgos (2005), Krick (2002), Niebel (2013)

El algoritmo asignó las actividades a cada estación tomando en consideración el tiempo de ciclo teórico (C), el tiempo de cada elemento y la precedencia de las actividades, de tal manera que generó un grupo de soluciones factibles que satisficieran de manera adecuada el balance de líneas de ensamble, por lo tanto lo primero que debió realizarse es la determinación del tiempo de ciclo teórico (C), el cual se define como el tiempo que permanece cada pieza o producto en proceso en cada estación de trabajo y se calcula como se muestra en la expresión (1).

$$C = TP / P \quad (1)$$

Donde TP es el Tiempo disponible de producción por turno y P se refiere a la Tasa de producción por turno. Luego se calculó el número mínimo de estaciones, según la expresión matemática (2).

$$k = Tt / C \quad (2)$$

Siendo k el número mínimo de estaciones, Tt la duración total de las tareas o actividades y C el tiempo de ciclo teórico.

Para realizar el balance de la línea de ensamble, el algoritmo comenzó las asignaciones de las tareas por estación, según el orden de precedencia y el tiempo de cada tarea, es decir, se asignan tareas a la estación I, evaluando la posibilidad de asignación por precedencia y sumando el tiempo del elemento asignado, se agregaron tareas a las estaciones mientras que la sumatoria de los tiempos asignados a ella no excedía el tiempo de ciclo teórico. Cuando lo anterior ocurrió, se abrió otra estación y se comenzó a asignar otras tareas según el orden de precedencia como se explicó anteriormente, de esa manera se continuó el procedimiento hasta que se completó el número de estaciones garantizando que se satisfizo con los requerimientos de producción. Este procedimiento se repitió de forma iterativa hasta que se alcance el número de soluciones que se indicaron a través de los de datos de entrada.

Ahora bien, la presente investigación considera en el balance de líneas de ensamble el aspecto de producción enfocado en el tiempo, valorando también el riesgo biomecánico de la asignación de tareas de un balance determinado, por ello, en la Etapa II se evaluó el Riesgo Biomecánico, es decir, el riesgo a sufrir lesiones músculo esqueléticas a los que estarían expuestos los operarios debido a la distribución de las actividades en las estaciones de trabajo en cada una de las alternativas de solución generadas.

El método de valoración de Riesgo Biomecánico que utilizó la herramienta es el REBA, por lo tanto, para ejecutar el algoritmo se debe contar con los valores de riesgo por cada articulación comprometida en cada una de las tareas según este método, luego se procedió a corregir los valores obtenidos del método REBA por el tiempo de exposición al riesgo empleando para este fin el método de Evaluación Multitarea de Carga Física.

En la Etapa III, se realizó la evaluación de las soluciones bajo un criterio multi-objetivo, para ello, se definió la función objetivo según la expresión (3).

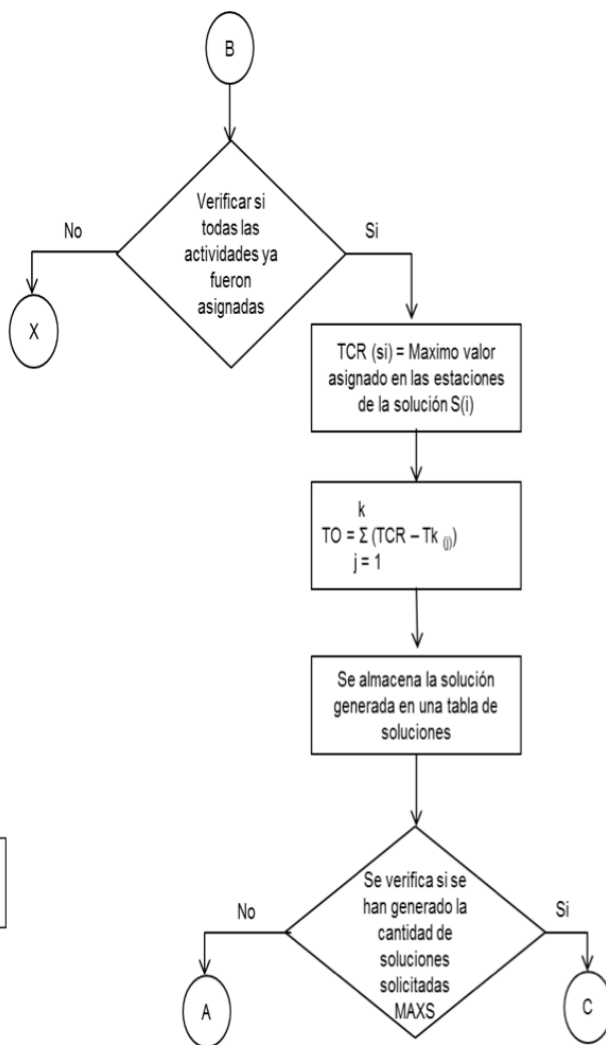
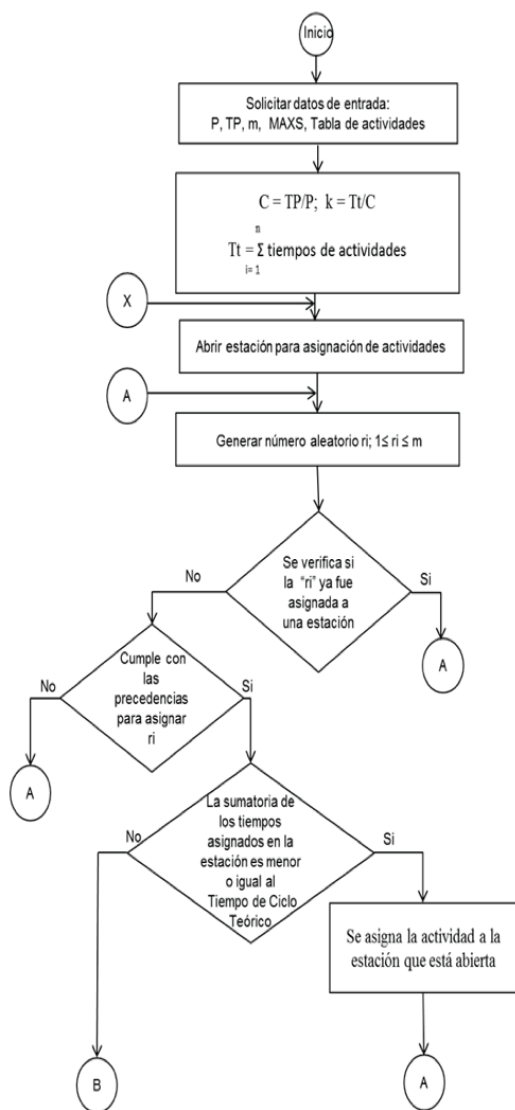
$$F.O = (0,35 \times TCR) + (0,15 \times TO) + (0,5 \times RB \times TCR) \quad (3)$$

Siendo TCR el tiempo de ciclo real y se refiere al máximo valor de tiempo asignado en cada solución, expresado en min/unidad; TO: el tiempo de ocio y se calculó como la sumatoria de la diferencia entre el tiempo máximo asignado en la solución (TCR) menos el tiempo asignado en la estación (i) se midió en min/unidad, para cada una de las estaciones asignadas en cada solución y el Riesgo biomecánico (RB) el promedio REBA siendo este último un número adimensional.

Los valores λ, β, γ dados como coeficientes son parámetros y se definen según el criterio del analista. En esta propuesta se tomaron en consideración tanto el Tiempo de ciclo real (TCR) como el Tiempo de Ocio (TO) como variables que evalúan el desempeño del balance desde el punto de vista de productividad ya que el TCR proporciona una medida de la capacidad de producción que se logra con la distribución de actividades asignadas en las soluciones factibles generadas, lo cual es un indicador pertinente y válido para la planeación de la producción de manera de satisfacer plenamente la demanda. En este sentido se sugirió que λ tomase un valor de 35% y β de 15%, de manera que las dos variables relacionadas con la distribución del tiempo de las actividades y la satisfacción de la demanda tuviesen un peso de 50%, dejando que la variable asociada con el riesgo biomecánico, asumiera un coeficiente (γ) equivalente al 50% restante, equiparando de esta forma la importancia de las variables relacionadas con la productividad y las referentes al riesgo de sufrir lesiones músculo esqueléticas. Es importante señalar que el número de estaciones de cada una de las soluciones que genera el algoritmo, puede variar según la asignación de actividades que se ejecuten a través del método.

La Función Objetivo es una función de minimización, razón por la cual las soluciones con menores valores de ésta son las alternativas que presentaron el mejor balance de líneas con consideraciones ergonómicas.

A continuación se muestra un diagrama de flujo que esquematiza, de manera general, el procedimiento descrito anteriormente. (Figura 3).



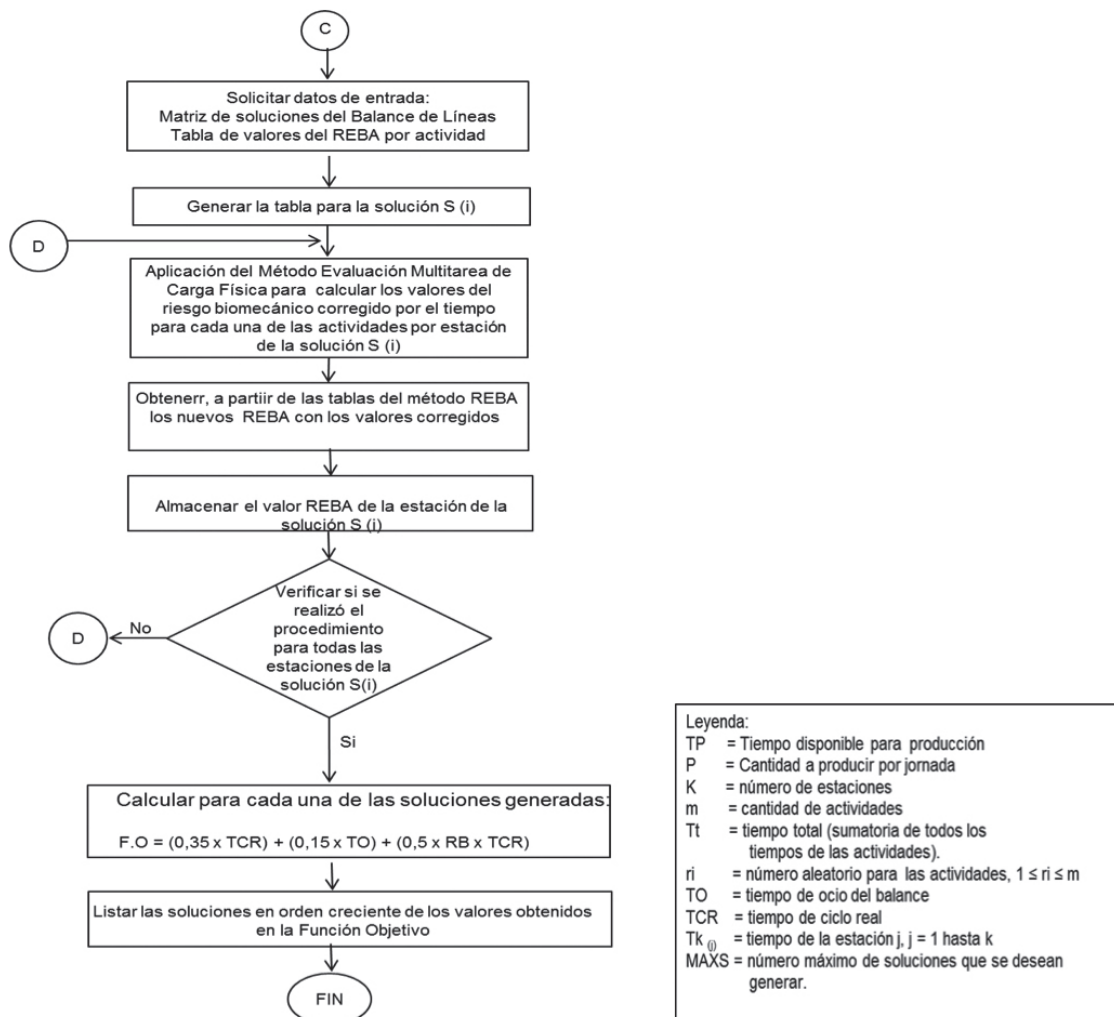


Figura 3. Diagrama de Flujo General del Método Propuesto

RESULTADOS

Se aplicó el procedimiento a una línea de ensamble que constaba de 9 actividades, cuyos tiempos y precedencias se muestran en la tabla 1. Estos datos son tomados de un ejemplo teórico a fines de ilustrar el procedimiento del método heurístico propuesto.

Tabla 1. Actividades, tiempos y precedencias de un proceso de ensamble

Tarea	Tiempo (s)	Precedida por
1	300	---
2	180	---
3	360	---
4	480	1
5	600	2
6	420	5
7	60	3,4,6
8	300	7
9	180	8

El tiempo de ciclo teórico fue de 18,46 min/unidad (1080 s/unid), suponiendo que la tasa de producción de la línea era de 26 unidades al día y se disponía de 480 min al día como jornada laboral.

Para balancear la línea se aplicó el procedimiento descrito anteriormente, en forma iterativa con el fin de obtener las dos soluciones factibles expuestas a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Soluciones Factibles del Balance de Líneas

	Estación	Tarea	Tiempo de la tarea (s)	Tiempo asignado por estación (s)	Tiempo Teórico no Asignado por estación (s)	Tiempo de Ocio Real (s)
Solución I	I	1	300	960	120	0
		2	180			
		4	480			
	II	3	360	960	120	0
		5	600			
	III	6	420	960	120	0
		7	60			
		8	300			
		9	180			
Solución II	I	1	300	960	120	60
		2	180			
		4	480			
	II	5	600	1020	60	0
		6	420			
	III	3	360	900	180	120
		7	60			
		8	300			
		9	180			

Evaluando ambas soluciones desde el punto de vista de producción, utilizando como indicador, por ejemplo, la capacidad de producción o de ensamble que presentó la línea según la distribución de las actividades realizada según la expresión (4), se tiene lo siguiente:

$$CP(i) = T_d / T_{Me} \quad (4)$$

Donde $CP(i)$ es capacidad de producción o ensamble de la solución (i) , $i = 1, 2, \dots, n$; siendo n el total de posibles soluciones que se generan en el procedimiento antes descrito; T_d es el Tiempo disponible en la jornada; T_{Me} se refiere al Tiempo máximo asignado en las estaciones debido al balance.

En la Solución I, el tiempo máximo asignado por estación fue de 960 segundos, es decir, 16 minutos, lo cual se convirtió en el tiempo de ciclo real (16 minutos/unidad), al calcular la capacidad de producción con esta solución se consiguió un valor de 30 unidades al día. Mientras que para la solución II el tiempo máximo asignado fue de 1020 segundos (17 minutos), obteniendo una capacidad de producción de 28 unidades/día.

De lo anterior se deduce, que para el caso de balance de líneas considerando sólo el tiempo de las actividades, la solución I fue mejor que la solución II, utilizando como único indicador el de Capacidad de Producción, sin embargo el método propuesto valoró además el riesgo biomecánico de la distribución de actividades en las estaciones de trabajo, lo cual se planteó como la Etapa II del procedimiento propuesto, en ella se realizó la evaluación del riesgo biomecánico de las soluciones generadas en la etapa anterior, aplicando tanto el Método REBA como la Evaluación Multitarea de Carga Física. En las tablas 3 y 4, se presentan los resultados de la aplicación de estos métodos a las soluciones I y II respectivamente.

Tabla 3. Resultados de la aplicación de los métodos biomecánicos a la Solución I

Solución I			Valores REBA								Evaluación Multitarea de Carga Física							
Estación	Actividad	Tiempo en segundos	Valor tronco	Valor cuello	Valor piernas	Valor peso	Valor brazo	Valor antebrazo	Valor muñeca	Vacople	Valor tronco corregido	Valor cuello corregido	Valor rodilla corregido	Valor peso corregido	Valor brazo corregido	Valor antebrazo corregido	Valor muñeca corregido	Valor de acoplamiento corregido
I																		
	1	300	2	2	1	0	2	1	2	1	600	600	300	0	600	300	600	300
	2	180	4	2	1	0	3	1	2	1	720	360	180	0	540	180	360	180
	4	480	3	2	1	0	2	2	2	1	1440	960	480	0	960	960	960	480
Suma		960									2760	1920	960	0	2100	1440	1920	960
Valores medios ponderados											3	2	1	0	2	2	2	1
II																		
	3	360	3	2	2	0	2	2	1	1	1080	720	720	0	720	720	360	360
	5	600	1	1	2	0	2	2	1	1	600	600	1200	0	1200	1200	600	600
Suma		960									1680	1320	1920	0	1920	1920	960	960
Valores medios ponderados											2	1	2	0	2	2	1	1
III																		
	6	420	2	2	2	1	3	2	1	1	840	840	840	420	1260	840	420	420
	7	60	1	2	1	1	2	2	2	1	60	120	60	60	120	120	120	60
	8	300	2	3	1	0	2	2	2	1	600	900	300	0	600	600	600	300
	9	180	1	1	2	0	2	1	2	1	180	180	360	0	360	180	360	180
Suma		960									1680	960	900	0	1380	960	540	960
Valores medios ponderados											2	1	1	0	1	1	1	1

Tabla 4. Resultados de la aplicación de los métodos biomecánicos a la Solución II

Solución II			Valores REBA								Evaluación Multitarea de Carga Física							
Estación	Actividad	Tiempo en segundos	Valor tronco	Valor cuello	Valor piernas	Valor peso	Valor brazo	Valor antebrazo	Valor muñeca	Vacople	Valor tronco corregido	Valor cuello corregido	Valor rodilla corregido	Valor peso corregido	Valor brazo corregido	Valor antebrazo corregido	Valor muñeca corregido	Valor de acoplamiento corregido
I																		
	1	300	2	2	1	0	2	1	2	1	600	600	300	0	600	300	600	300
	2	180	4	2	1	0	3	1	2	1	720	360	180	0	540	180	360	180
	4	480	3	2	1	0	2	2	2	1	1440	960	480	0	960	960	960	480
	Suma	960									2760	1920	960	0	2100	1440	1920	960
Valores medios ponderados											3	2	1	0	2	2	2	1
II																		
	5	600	1	1	2	0	2	2	1	1	600	600	1200	0	1200	1200	600	600
	6	420	2	2	2	1	3	2	1	1	840	840	840	0	1260	840	420	420
	Suma	1020									1440	1440	2040	0	2460	2040	1020	1020
Valores medios ponderados											1	1	2	0	2	2	1	1
III																		
	3	360	3	2	2	0	2	2	1	1	1080	720	720	0	720	720	360	360
	7	60	1	2	1	1	2	2	2	1	60	120	60	60	120	120	120	60
	8	300	2	3	1	0	2	2	2	1	600	900	300	0	600	600	600	300
	9	180	1	1	2	0	2	1	2	1	180	180	360	0	360	180	360	180
	Suma	900									1920	840	780	0	840	840	480	900
Valores medios ponderados											2	1	1	0	1	1	0	1

Los “valores corregidos” de cada parte del cuerpo en cada una de las tareas, mostrados en las tablas anteriores, se calcularon multiplicando el valor obtenido a través del método REBA para la tarea por el tiempo de duración de la misma, el total se calculó como la sumatoria de los tiempos de cada uno de los elementos por estación y los “valores medios ponderados” son la sumatoria del valor corregido para cada parte del cuerpo por estación, dividido entre el valor “suma”, la aproximación al entero se realizó según lo establecido por el método de Evaluación Multitarea de Carga Física. Estos valores medios ponderados representan el nivel de riesgo a sufrir de lesiones músculo esqueléticas evaluado por el método REBA y corregidos por el método de Evaluación Multitarea de Carga Física.

Una vez calculados los valores corregidos se aplicó nuevamente el método REBA para obtener un solo indicador de riesgo biomecánico por estación y para cada solución a través del cálculo del promedio de riesgo REBA, el Algoritmo realizó este procedimiento para cada una de las soluciones que se generaron en la Etapa I, así se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados del Riesgo Biomecánico para cada solución

Solución	Estación	Nuevo Valor REBA	Promedio REBA
I	I	4	
	II	3	
	III	5	4
II	I	4	
	II	2	
	III	4	3,33

Para ilustrar la Etapa III del procedimiento propuesto se continúa con el caso, los resultados obtenidos en las etapas anteriores se resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Valores obtenidos para las dos soluciones

Soluciones	Tiempo de Ciclo Real (TCR)	Tiempo de Ocio (T.O)	Promedio REBA
1	16	0	4
2	17	3	3,33

Ahora bien la función objetivo propuesta en esta investigación, es la expresión que se muestra a continuación:

$$F.O = (0,35 \times TCR) + (0,15 \times TO) + (0,5 \times RB \times TCR)$$

Sustituyendo los valores se tiene:

Solución I:

$$F.O = (0,35 \times 16) \text{ min/u} + (0,15 \times 0) \text{ min/u} + (0,5 \times 16 \times 4) \text{ min/u} = 37,6 \text{ min/unidad}$$

Solución II:

$$F.O = (0,35 \times 17) \text{ min/u} + (0,15 \times 3) \text{ min/u} + (0,5 \times 17 \times 3,33) \text{ min/u} = 34,70 \text{ min/unidad.}$$

En este caso, como la función objetivo es de minimización, la solución II fue la que presentó mejor desempeño en relación a los criterios considerados no sólo tomando en cuenta las consideraciones de tiempo de producción sino también el riesgo biomecánico que representa para el operario la asignación de las actividades en las estaciones.

DISCUSIÓN

El método propuesto en esta investigación abarcó líneas de ensamble que contemplan varios modelos de un mismo producto, teniendo un conjunto de actividades en común con la totalidad de las tareas, produciéndose unidades de diferentes modelos en una secuencia mixta arbitraria, como es el caso de las ensambladores de vehículos, además incluye en sus evaluaciones el riesgo biomecánico asociado tanto a los miembros superiores como los inferiores, considerando también como factor importante el tiempo de exposición al riesgo en cada actividad. Por otro lado, el sistema planteado en esta investigación, logró un equilibrio entre el balance de líneas por tiempo, precedencias y consideraciones ergonómicas, a través de la función multiobjetivo con los tres criterios considerados, los cuales son tiempo de ciclo real, tiempo de ocio y riesgo biomecánico y los parámetros propuestos, presentando una mayor aplicabilidad con respecto a otros métodos como el de Coronado y Mateus (2013), siendo éste un método específico para celdas tipo U y se enfoca hacia los movimientos en miembro superiores, otra perspectiva relevante del método propuesto es que se aborda el tema desde la heurística, por lo que el método propuesto genera soluciones factibles que se ajustan de manera satisfactoria para la resolución del problema de balance de líneas con consideraciones ergonómicas, aplicables a problemas de gran tamaño.

CONCLUSIONES

La heurística diseñada aporta un valor agregado dentro de los objetivos de la teoría de balance de líneas de ensamble, el cual corresponde a la minimización del riesgo a lesiones músculo esqueléticas dada la importancia que reviste la salud de los trabajadores como parte esencial de la empresa y para lo cual, tanto las jefaturas como los trabajadores deben participar activamente en pro de las actividades que se emprendan para ello.

Con el método propuesto, los analistas, tanto de producción como de riesgo, cuentan con un algoritmo que les proporciona un grupo de soluciones factibles para el problema de balance de líneas, las cuales presentan un equilibrio entre el tiempo y las cargas de trabajo proporcionando un balance entre la productividad y la salud del trabajador, listadas en orden creciente de la función objetivo, siendo la mejor solución obtenida la de menor valor ya que la función objetivo es de minimización, lo cual puede ayudar al analista, según su experticia, necesidades y requerimientos, seleccionar el balance del línea que mejor se ajuste a los requerimientos.

El método desarrollado, debido a su estructura genérica, permite su implementación en cualquier empresa cuyos procesos de producción involucren línea de ensamble, ajustando los datos para cada caso específico, quedando por ahora excluidos aquellas líneas de ensamble que necesiten hacer énfasis en el análisis de otras variables ergonómicas, más allá de los asociados con las posturas y la carga física.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURGOS, Fernando. *Ingeniería de Métodos, Calidad y Productividad*. 2da Edición. Universidad de Carabobo. Venezuela, 2005, 402 p. ISBN 978-980-233-060-7.

CACHUTT, Crisdalith., RODRIGUEZ, Eliana., VARGAS, Eduardo., ARAVENA, Emilio. Demanda biomecánica en el Ensamblaje de un vehículo camioneta deportiva. *Ciencia y Trabajo*.2009, vol. 11no. 34p. 177-183.

BELMAN, Jaime. Modelos y Algoritmos de secuenciación en líneas de ensamble de productos mixtos. Ph.D. Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.[En línea] 2006,[Consultado en Marzo, 2013]:<<http://www.nissanchair.com/JIT/ThesisJCB-w.pdf>>

CORONADO-HERNANDEZ, Jairo R., and MATEUS, Holman Ospina. Incorporación de Riesgos Ergonómicos en el Balanceo de Líneas de Ensamble en U. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 2013, vol. 4, no2, p. 29-43.[Consultado en diciembre 2013] Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.4995/wpom.v4i2.1164>>

GÓMEZ, Ezequiel., and NUÑEZ, Franklin. Plantas Industriales. *Aspectos Técnicos para el Diseño*. Publicaciones de la Universidad de Carabobo, Venezuela. 2005,ISBN 978-980-233-060-7.

HIGNETT, Sue., and CATAMNEY, Lynn. Rapid Entire Body Assessment (REBA).*Applied Ergonomics*. 2000, vol 3. p. 201-205.

HURTADO, Jacqueline. *El proyecto de investigación*. Comprensión Holística de la metodología y la investigación. Sexta Edición. Bogotá, Colombia. Ediciones Quirón. 2010, p.183 ISBN No. 978-95844-3440-1

IDOATE, Victor., and POLLÁN, Milagros. Evaluación multitarea de la carga física. *MAPFRE Seguridad*. 2003, vol. 90, p. 19-27.

KRICK,Edward.*Ingeniería de Métodos*. Limusa. Noriega Editores. México. 2002, ISBN 968-18-0585-2

NIEBEL, Benjamin, and FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño de Trabajo*. Duodécima Edición. México. Mc Graw Hill.2013, 615 p. ISBN 978-970-10-6962-2.

PÉREZ, Iván., and PÉREZ, Cristina. Modelación y Simulación Computacional de una Línea de Ensamble de Asientos Traseros de una Empresa Autopartista usando Dinámica de Sistemas. *Revista Colombiana de Computación*. 2009, vol. 10, no 2, p. 130-141.

PONNAMBALAM, S., ARAVINDAM, P., and NAIDUL, G. Multi-Objective-Genetic Algorithm for Solving Assembly Line Balancing Problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2000, vol. 16, no.1,p. 341-352.

PUNNET Laura., GOLD Judith., KATZ, Jeffrey., GORE, Russell., and WEGMAN, David. Ergonomic stressors and upper extremity musculoskeletal disorders in automobile manufacturing: a one year follow up study. *Occup. Environ. Med.* 2004, vol.61, no8, p. 668-674.

RAMIREZ, Sergio., GONZÁLEZ, Guillermo., and GONZÁLEZ, Marta. Un caso real de balanceo de Líneas de ensamble con restricciones de secuencia de subproductos resuelto con un modelo genético. *Revista de la Ingeniería Industrial*. 2010, vol. 4, p. 1-14. [Consultado en enero, 2014] [Disponible en línea en] <<http://academiajournals.com/Ind10.html>>

RESTREPO, Jorge., MEDINA, Pedro., and CRUZ, Eduardo. Problemas de Balanceo de línea SALBP-1 y SALBP-2: Un caso de estudio. *Scientia et Technica*. Universidad Tecnológica de Pereira. 2008, vol.4, p. 105-110.

RODRÍGUEZ, Eliana., MEDINA, Emilsy., and MANERO, Rogelio. Evaluación del Nivel de Riesgo a lesiones Músculo-esqueléticas en el Sector automotriz venezolano. *Universidad, Ciencia y Tecnología*.2008, vol. 12, no.48,p. 147-156.

RODRÍGUEZ, Eliana., *et al.* Demanda biomecánica en el ensamble de un vehículo compacto. *Universidad, Ciencia y Tecnología*.2009, vol.13, no. 52, p.223-230.

VÁZQUEZ, Lamberto., ESCÁRCEGA, José., and MEDINA, Arturo. Sistema de evaluación ergonómica para estaciones de trabajo manual, en los procesos de producción, en la industria maquiladora del Noreste del Estado de Sonora". *Memorias del XV Congreso del Internacional de Ergonomía SEMAC*.2009. [Disponible en línea en] <<http://www.semac.org.mx/archivos/congreso11/EVAL6.pdf>>

XU, Zhan., KO, Jeonghan., COCHRAN, David, and JUNG, Myung-Chul. Desing of assembly lines with the concurrent consideration of productivity and upper extremity musculoskeletal disorders using linear models. 2012. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, vol. 62, pp. 431-441